



PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Título:

Calidad de la energía del suministro eléctrico del transformador seco del área de caldera de 630 kVA en una industria alimenticia.

Autores:

Jhonathan Reyes Martínez
Carlos Suaza Moreno
Jeiner Torres Polo

Asignatura:

Análisis de calidad de la energía

UNIVERSIDAD DE LA COSTA - 2021



Programa de Ingeniería Eléctrica
Asignatura: Análisis de calidad de la energía

Autores:

Jhonathan Reyes Martinez, Carlos Suaza Moreno, Jeiner Torres Polo

Título: Calidad de la energía del suministro eléctrico del transformador seco del área de caldera de 630 kVA en una industria alimenticia.

PREGUNTA RETO: *¿Cuáles son las condiciones de la calidad de la energía del suministro eléctrico industrial de una empresa alimenticia y de aseo después de la instalación de nuevos equipos?*

I. INTRODUCCIÓN

El programa Retos Unicosta es una estrategia de innovación abierta y educativa que permite desarrollar soluciones a retos empresariales, haciendo uso de la co-creación para aportar al crecimiento significativo en su organización.

La estrategia está basada en el trabajo colaborativo entre empresarios (diversos sectores económicos), tutores (de asignaturas de ciclo de profundización profesional) y estudiantes (de últimos semestres) para la resolución de un reto previamente definido, haciendo uso de la metodología Design Thinking. Esta metodología consta de (5) cinco etapas: empatizar, definir, idear, prototipar y testear. Al finalizar la aplicación de esta metodología, se logrará estructurar y presentarles soluciones entre las que usted podrá seleccionar la mejor y más pertinente a su necesidad.

Este informe presenta los resultados de la aplicación de la estrategia de Retos en una empresa alimenticia y de aseo ubicada en la ciudad de Barranquilla.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Definición de calidad de la energía y problemas de calidad de la energía.

El término de calidad de la energía se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos, que caracterizan la tensión y la corriente durante un determinado tiempo, en un lugar específico del sistema de potencia. La calidad de la energía es afectada por distorsiones electromagnéticas que alteran el funcionamiento de un dispositivo, un mecanismo o sistema, reduciendo su vida útil.

2.2. Variaciones de tensión de larga duración

Las variaciones de larga duración se clasifican en sobre tensión, baja tensión, e interrupciones sostenidas.

La sobre tensión y la baja tensión generalmente no son el resultado de fallas en el sistema.

Estos pueden ser causados por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Son típicamente registradas cuando se monitorea el valor r.m.s. de la tensión contra el tiempo.

Sobre tensión

- Incremento en el valor r.m.s. de la tensión superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.
- Usualmente es el resultado de desconexiones de grandes cargas o debido a conexiones de bancos de capacitores.
- Ocurre cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.
- La incorrecta selección de los taps en los transformadores puede ocasionar sobretensión en el sistema.

Baja tensión.

- Reducción en el valor r.m.s. de tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.
- La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores puede causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo.
- Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.
- Taps de los transformadores incorrectos.

Sobre carga de corriente

Corriente excesiva en relación con la corriente nominal de operación.

Se presenta en los conductores y en otros componentes de un sistema de distribución.

En la mayoría de las veces, son más frecuentes entre un rango de una a seis veces el nivel de corriente nominal.

Son causadas por aumentos temporales de corriente y ocurren cuando los motores arrancan o cuando se energizan los transformadores.

Las corrientes de sobrecarga (o transitorias) son de ocurrencia normal. Debido a su corta duración cualquier aumento de temperatura es trivial y no tiene efecto dañino sobre los componentes del circuito.

Es importante que los dispositivos de protección no reaccionen a este tipo de corrientes.

Las sobrecargas continuas pueden ser causadas por motores defectuosos (tales como rodamientos del motor desgastados), equipos sobrecargados o demasiadas cargas a un solo circuito.

Estas sobrecargas son destructivas y deben ser cortadas por los dispositivos de protección antes que dañen el sistema de distribución o afecten el sistema de cargas.

Son de magnitud relativamente bajas comparadas con las corrientes de cortocircuito, las cuales, deben cortarse en milisegundos para prevenir daños al equipo.

2.3. Desequilibrio de tensión

El desbalance de tensión, que en la mayoría de los casos se presenta junto a desviaciones de tensión, constituye uno de los problemas más comunes y fundamentales de la calidad de la energía, que influye en el incremento de las pérdidas en los sistemas y motores eléctricos. Este fenómeno se pone de manifiesto cuando las tensiones de línea difieren en magnitud, o no estén desfasadas 120 grados eléctricos entre sí.

Causas del desbalance de tensión.

Son varias las causas del desbalance de la tensión y pueden ser originadas por el sistema de suministro eléctrico o por los propios motores u otras cargas.

El desbalance de tensión es causado por el sistema de suministro eléctrico, cuando se ponen de manifiesto las irregularidades siguientes:

- Fuente de suministro inestable o desbalanceada.
- Desigual distribución de las cargas, usualmente en circuitos con predominio de cargas monofásicas.
- Transposición incompleta de las líneas.
- Ruptura de un fusible en un banco de capacitores trifásico.
- Transformadores conectados en bancos asimétricos, en especial en delta abierta.
- Fallas monofásicas a tierra no identificadas.
- Desperfectos en los empalmes, uniones o contactos.

El desbalance es provocado por el mismo motor en los casos siguientes:

- Asimetría en el esquema de conexión de los enrollados.
- Asimetría en las impedancias de los circuitos del estator y del rotor.
- Ausencia de contacto en el circuito de una de las fases del rotor o la ruptura de una o varias barras de la jaula del rotor.

Efectos del desbalance de tensión.

Cuando el motor se alimenta desde una fuente con tensiones desbalanceadas, el campo magnético resultante es elíptico, debido a que las componentes de secuencia positiva y negativa de las corrientes generan sus propias ondas de fuerza magnetomotriz, estableciendo campos que giran en sentido contrario uno con respecto al otro. Este fenómeno provoca los efectos siguientes en las máquinas asíncronas:

- Aumento del consumo de la potencia activa, aumento de las pérdidas y disminución en la eficiencia.
- Se reduce el momento de arranque y el momento máximo.
- El estator y especialmente el rotor se sobrecalientan produciendo un rápido envejecimiento. Este calentamiento se hace mayor para el desbalance con baja tensión.
- Posible accionamiento de los dispositivos de protección de los motores afectando la producción de una industria.
- La componente de momento desarrollado a doble frecuencia aumenta el ruido y las vibraciones, por lo que los rodamientos, los aislamientos y otros elementos pueden sufrir daños.

Métodos para el cálculo de variaciones de tensión

$$\text{Variación de tensión (p. u)} = \frac{\text{Tensión medida (V)}}{\text{Tensión nominal (V)}} \quad (1)$$

Métodos para el cálculo de desequilibrio de tensión

$$PVU = \frac{\max[|V_{ab} - V_{proml}|; |V_{bc} - V_{proml}|; |V_{ca} - V_{proml}|]}{V_{proml}} \cdot 100 \quad (2)$$

2.4. Armónicos

Los armónicos constituyen tensiones o corrientes sinusoidales, cuyas frecuencias son un múltiplo entero de la frecuencia fundamental para la cual el sistema de suministro eléctrico está diseñado para trabajar. Este fenómeno es resultado de la distorsión de la forma de onda, provocado por dispositivos y cargas con características no lineales, que son conectados al sistema de potencia. Entre estas cargas no lineales se encuentran los convertidores estáticos de potencia, los dispositivos de descargas en forma de arcos eléctricos, los dispositivos magnéticos saturados y en menor medida, las máquinas rotatorias.

Efectos de los armónicos.

El grado de tolerancia de los armónicos está determinado por la susceptibilidad de las cargas a estos. Los equipamientos que menos se afectan por la presencia de armónicos, son aquellos cuya función fundamental es generar calor, como es el caso de los hornos, mientras que los elementos más afectados, son aquellos diseñados para trabajar con ondas de tensiones y corrientes perfectamente sinusoidales. Entre este tipo de equipos se encuentran los de comunicación o los procesadores de datos.

Es importante destacar, que aun en los casos donde las cargas son menos susceptibles a la presencia de armónicos, estos son dañinos, por ejemplo, en los hornos eléctricos, los

armónicos producen sobrecalentamiento en los dieléctricos o estrés por tensión en los aislamientos, causando su envejecimiento prematuro.

Los principales componentes de un sistema de potencia son afectados en mayor o menor medida por la presencia de armónicos.

En los transformadores, los armónicos de corriente provocan un incremento en las pérdidas de cobre y en las pérdidas por flujo de dispersión, mientras que los armónicos de tensión producen un incremento en las pérdidas de núcleo. El resultado de estos efectos es un aumento en el calentamiento del transformador.

En los cables del sistema de potencia, el flujo de corrientes no sinusoidales, puede provocar un calentamiento adicional, debido al efecto pelicular, el cual es función de la frecuencia.

En los capacitores, la mayor preocupación ante la presencia de armónicos radica en la posibilidad del surgimiento de resonancia en el sistema. Este efecto produce un aumento considerable en los valores de tensión y corriente. La reactancia de un banco de capacitores decrece con la frecuencia, por lo tanto, el banco actúa como un sumidero ante las corrientes de armónicos de orden superior. Este comportamiento produce sobrecalentamiento y estrés en el dieléctrico, reduciéndose la vida útil del capacitor.

Los equipos electrónicos son susceptibles a la mala operación causada por la distorsión armónica. Estos equipos frecuentemente son dependientes de la exactitud en el cruce por cero de la tensión u otros aspectos de la forma de onda de tensión. La distorsión armónica produce el corrimiento del cruce por cero de la tensión o del punto en que una fase de la tensión comienza a ser mayor que otra fase. Estos dos puntos son críticos para muchos tipos de circuitos electrónicos de control y su desplazamiento produce una mala operación.

Los metrocontadores y otros instrumentos de medición, son afectados por componentes armónicos, particularmente si existen condiciones de resonancia, que producen altos niveles de tensiones y corrientes armónicas en el circuito.

Los desconectivos y relevadores, como en otros dispositivos, se ven afectados por el incremento del calor y las pérdidas provocados por las corrientes armónicas, reduciendo la capacidad de conducir corriente en estado estacionario y acortando la vida útil de algunos componentes de aislamiento.

En los motores, los principales efectos de las corrientes y tensiones armónicas están en el aumento del calentamiento y de las pérdidas, así como el incremento del ruido y las vibraciones. Esto trae consigo la disminución de la eficiencia de la máquina, reducción del momento desarrollado, y otros efectos negativos.

Cada armónico de tensión produce el correspondiente armónico de corriente en el estator del motor, ocurriendo un calentamiento adicional en ese devanado, que se suma al aumento de temperatura provocado por la corriente del fundamental.

El flujo asociado a la corriente armónica del estator produce una fuerza magnetomotriz en el entrehierro, que induce un flujo asociado a la corriente armónica en el rotor de la máquina. Los armónicos de corriente de secuencia positiva incluyendo la componente fundamental ($3n+1$), $n = 0, 1, 2, \dots$, desarrollan un momento con el mismo sentido que la rotación del rotor, mientras que los armónicos de corriente de secuencia negativa ($3n+2$), producen un momento en dirección contraria a la rotación del rotor. El resultado de esto es un sobrecalentamiento en el rotor, así como, pulsaciones y reducción en el momento desarrollado.

Métodos para el cálculo de armónicos

$$THDV = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}{V_1^2}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{50} I_k^2}}{I_{\max}} \quad (4)$$

$$IVD = \frac{V_k}{V_1} \cdot 100 \quad (5)$$

$$ICD = \frac{I_k}{I_1} \cdot 100 \quad (6)$$

$$HVF = \sqrt{\sum_{k=5}^{\infty} \frac{IVD_{pu}^2}{k}} \quad (7)$$

$$K\text{-Factor} = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{I_k}{I_{rms}} \right)^2 \cdot k^2 \quad (8)$$

2.5. Procesamiento de datos.

1. Obtención de los gráficos del comportamiento de los parámetros siguientes con los límites establecidos por las normas y la capacidad del transformador:
 - Tensiones de línea.
 - Variación de tensión
 - Desequilibrio de tensión
 - Corriente de línea

- Desequilibrio de corriente
 - Potencia
 - Factor de potencia
 - Armónicos de tensión y corriente.
2. Interpretación de los resultados.
 3. Identificación de problemas.
 4. Propuestas de soluciones.

III. RESULTADOS.

3.1. Datos del transformador:

TRANSFORMADOR SECO ABIERTO

TIPO/SERIE **DTN2/3408010**

NORMA **NTC 3654** FASES **3** TEL: (574) 444 92 77 SABANETA-COLOMBIA email: suntec@suntec.com.co

CAPACIDAD **630** KVA AN **60** HZ

CLASE T **H** ΔT DEV **125** °C

AMB MAX **40** °C CONEXION **Dyn5**

AÑO **2010** PESO **1400** kg

ALTA TENSION **H1-H2-H3**

13.200 V - **27.5** A

SERIE **15** KV NBA **65** KV

BAJA TENSION **X1-X2-X3/X0**

460/266 V - **790.7** A

SERIE **11** KV NBA **—** KV

U₂% (**630** KVA) **6.35**

PANTALLA AT-BT: SI ☐ NO ☒

FACTOR K ARMONICOS **—**

FACTOR DE SERVICIO **1.0**

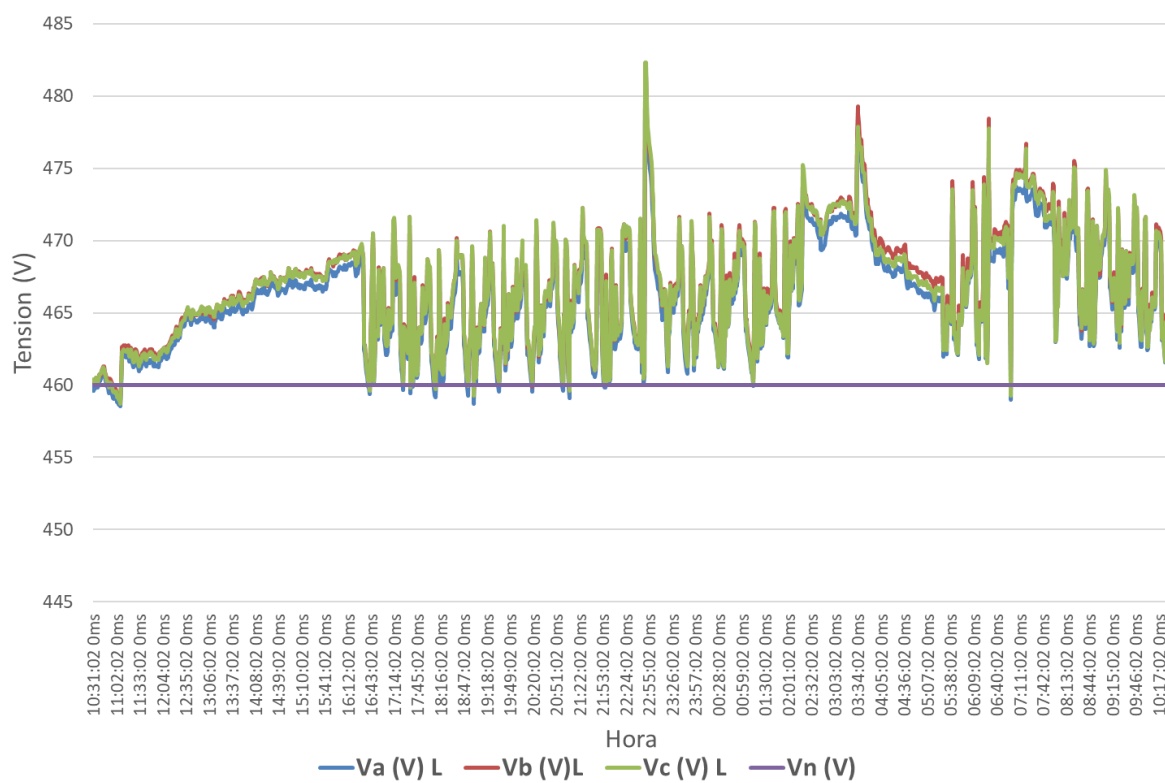
DEVANADOS **COBRE**

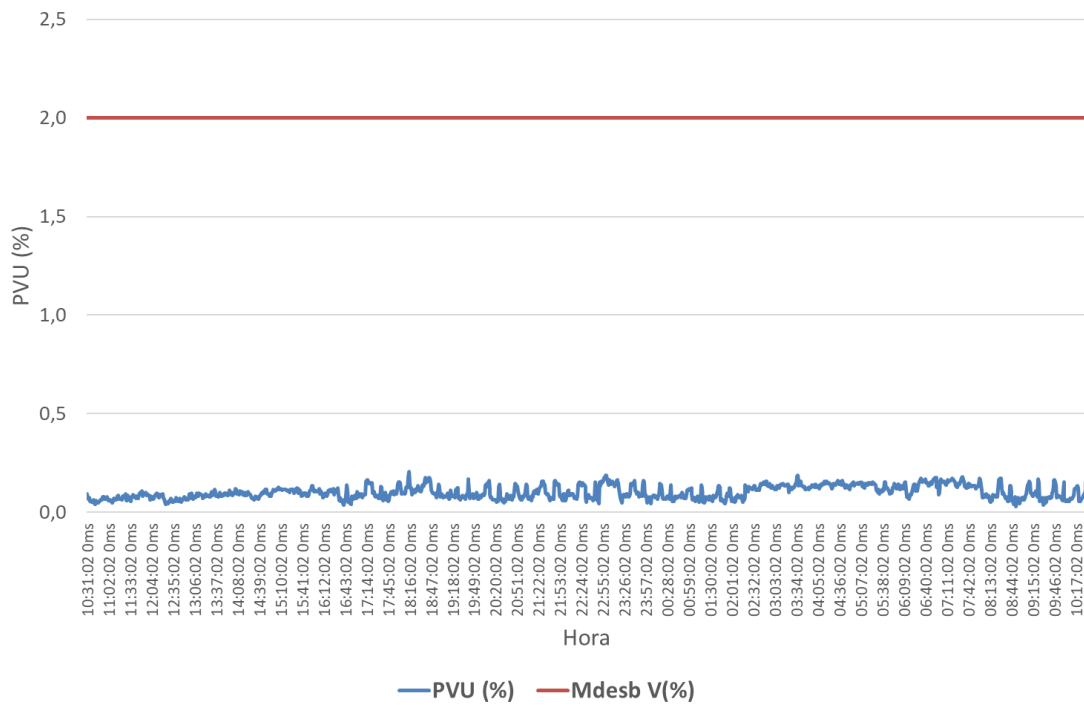
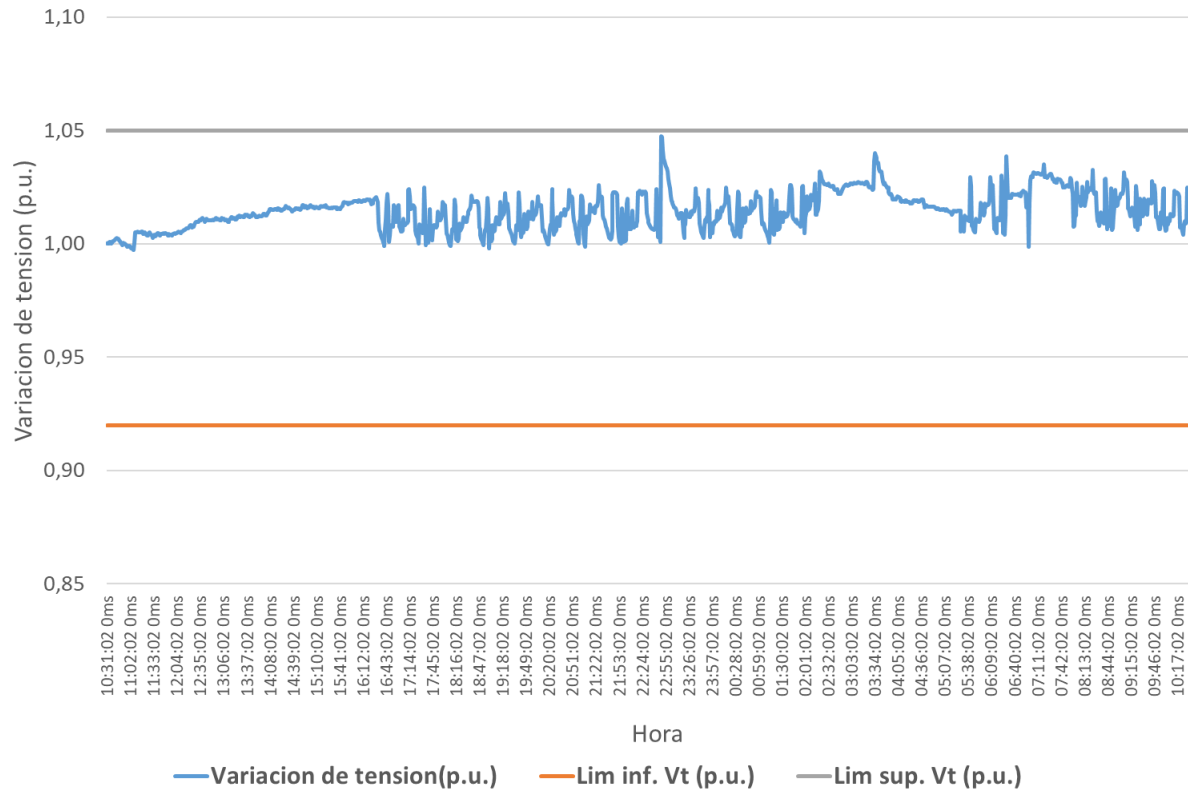
TRANSFORMADORES SUNTEC S.A.

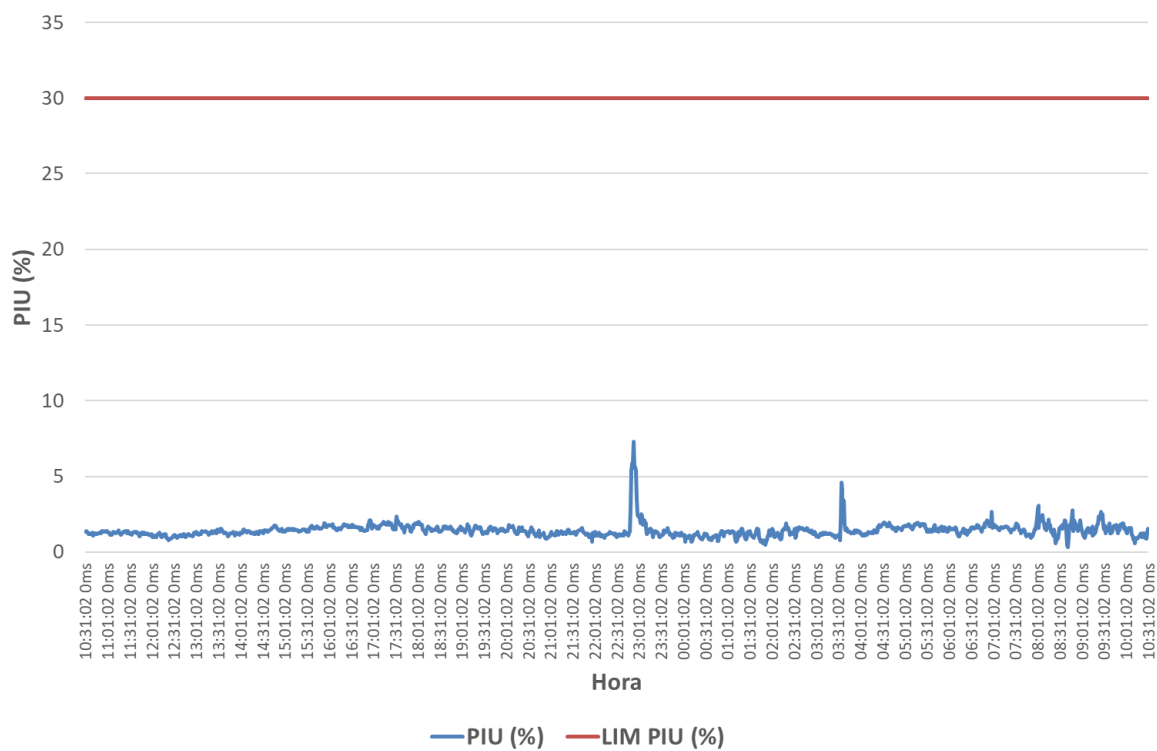
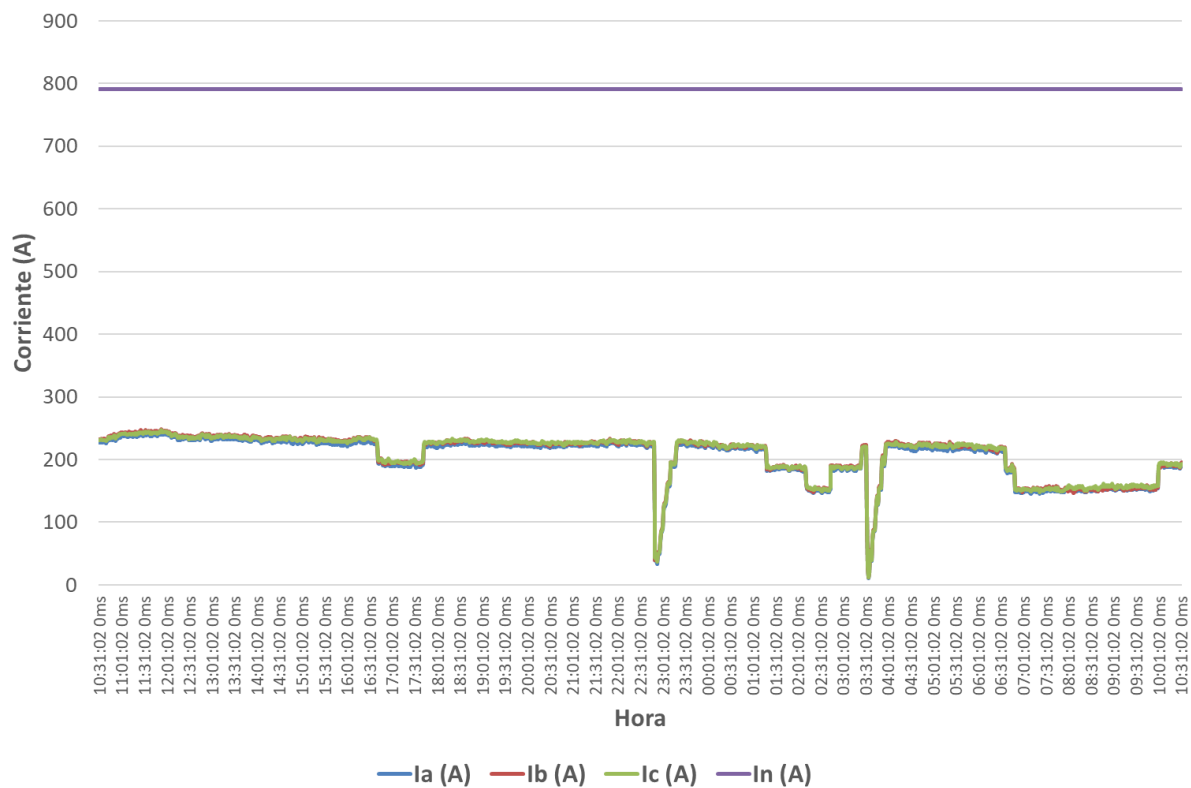


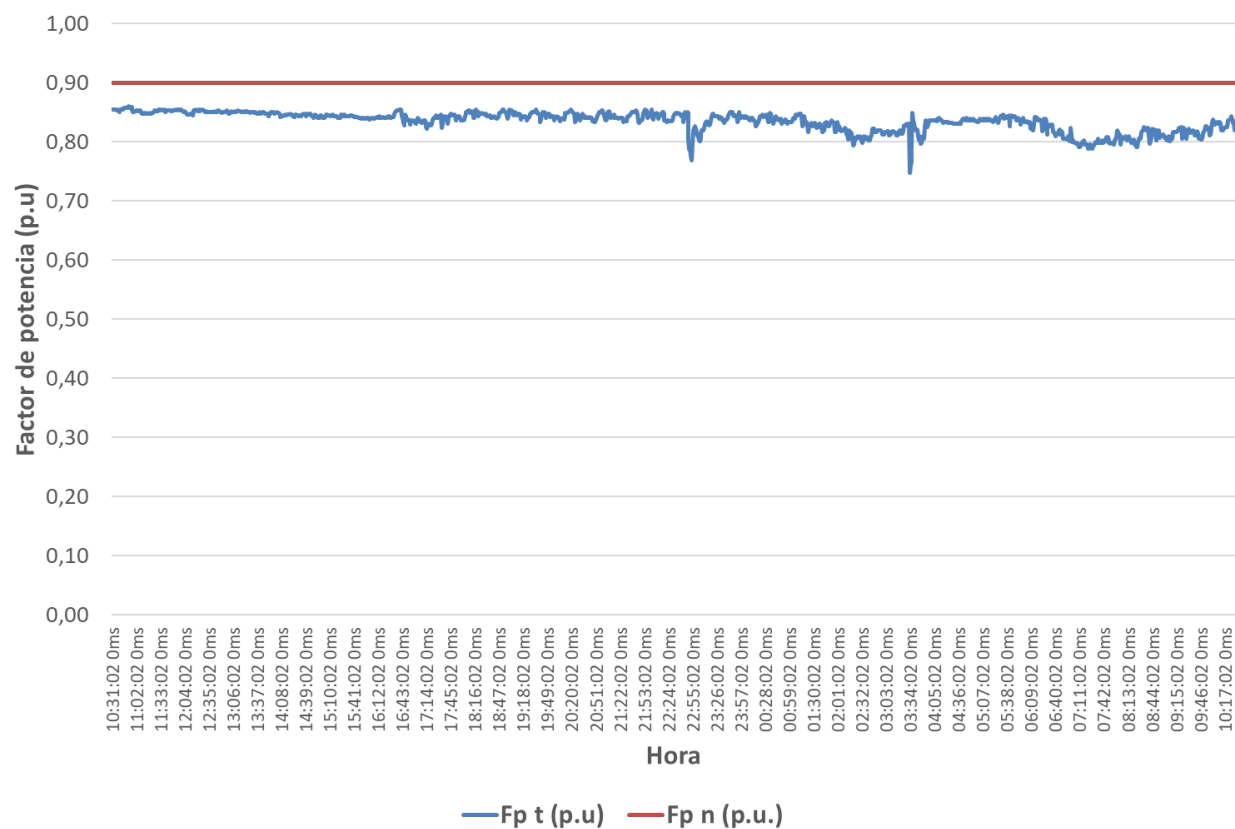
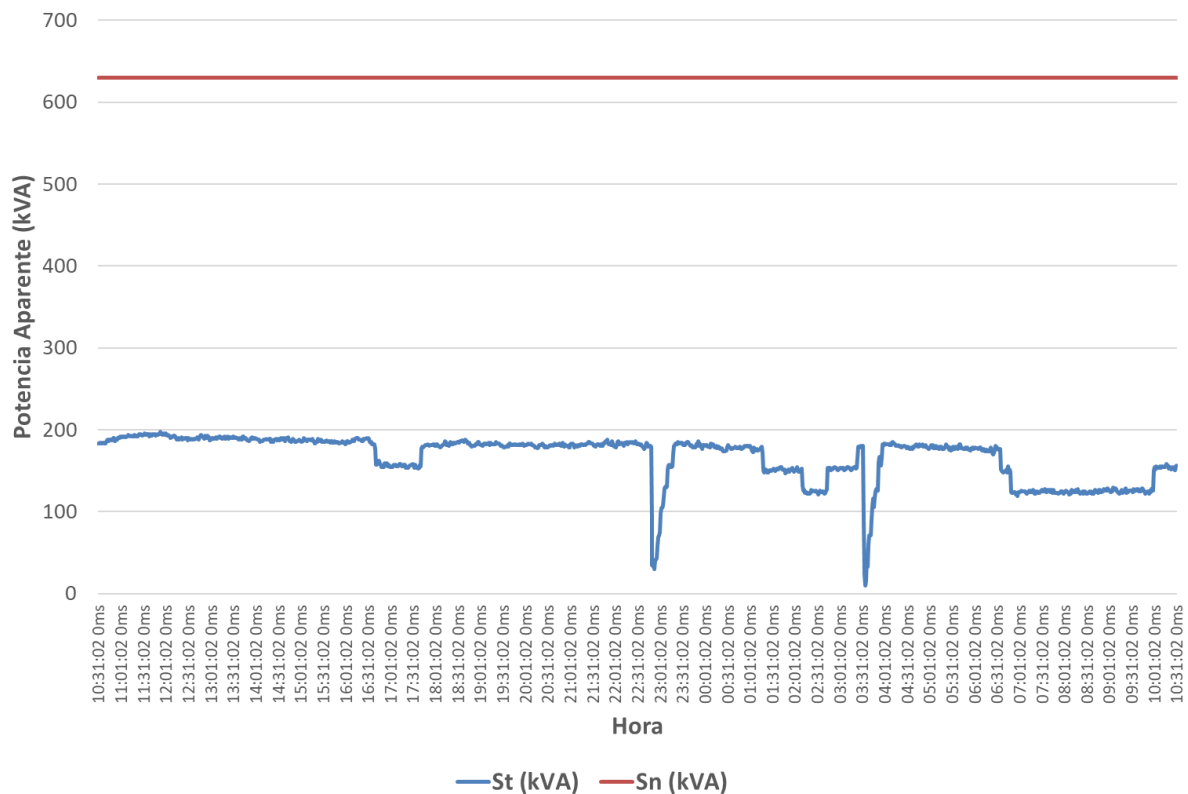
| | |
|--------------------------|----------------------------|
| Función | Transformador Seco Caldera |
| Marca | SUNTEC |
| Potencia (KVA) | 630 |
| Frecuencia (Hz) | 60 |
| Tensión primaria (V) | 13200 |
| Corriente primario (A) | 27.5 |
| Tensión secundaria (V) | 460/266 |
| Corriente secundario (A) | 790.7 |
| Conexión | Dyn5 |
| ICC (kA) | 12.45 |
| U ₂ % | 6.35 |

3.2. Gráficos de los parámetros analizados.





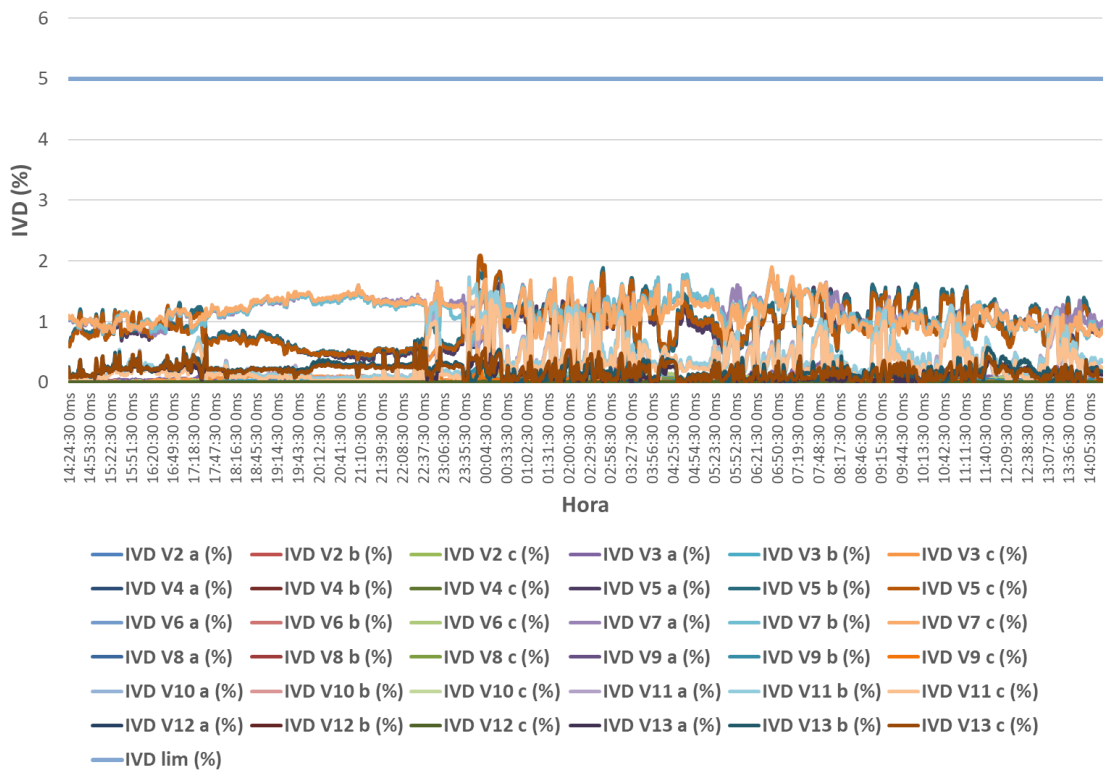
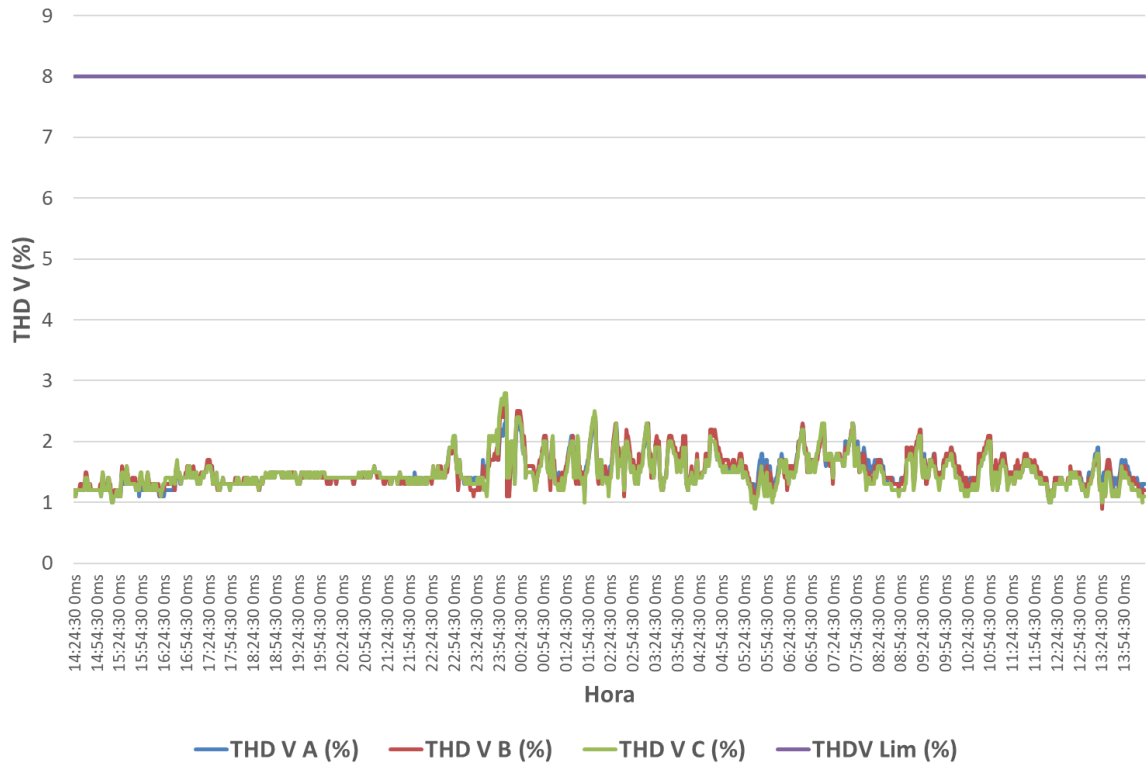




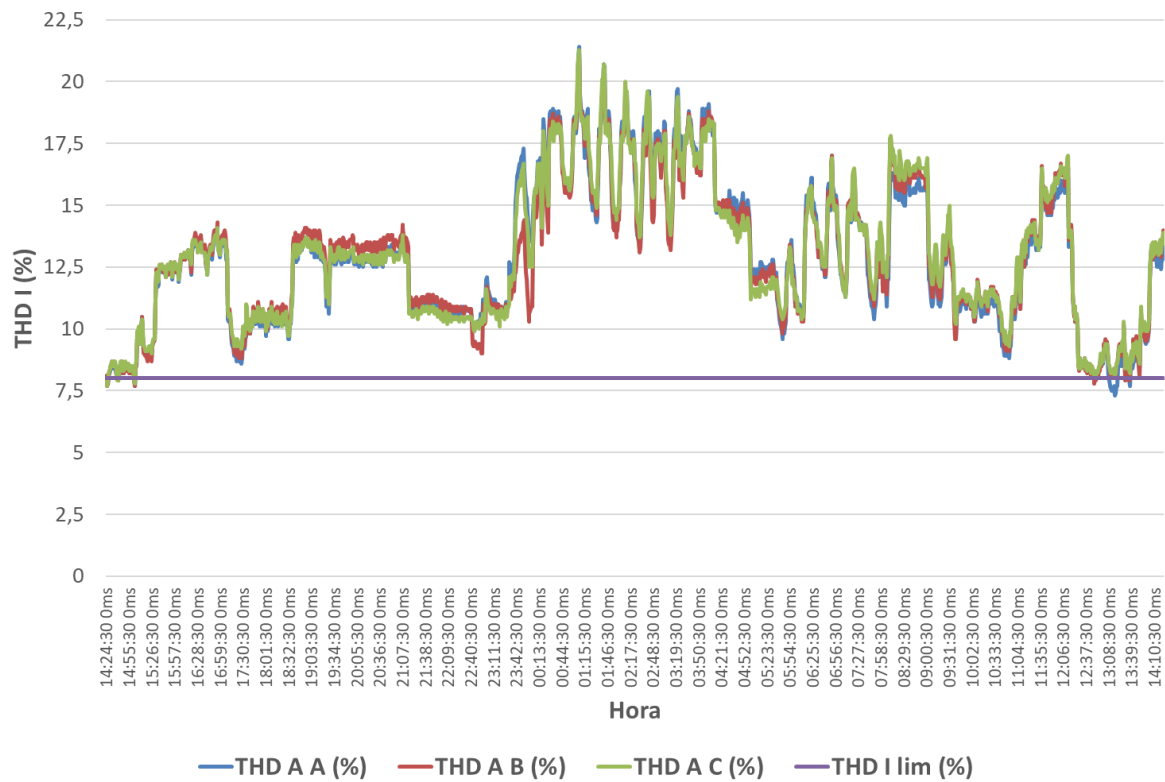
| Parámetros | Máximo | Mínimo | Promedio | Desviación estándar |
|--------------------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| Variación de tensión (p.u.) | 1.05 | 1.00 | 1.01 | 0.01 |
| Desequilibrio de tensión (%) | 0.21 | 0.03 | 0.10 | 0.03 |
| Desequilibrio de corriente (%) | 7.31 | 0.34 | 1.43 | 0.46 |
| Factor de potencia (p.u.) | 0.86 | 0.75 | 0.83 | 0.02 |
| Factor de carga (%) | 31.29 | 1.53 | 26.51 | 4.41 |
| Potencia aparente total (kVA) | 197.12 | 9.67 | 167.04 | 27.79 |
| Potencia activa total (kW) | 168.60 | 7.42 | 139.99 | 25.05 |
| Potencia reactiva total (kVAr) | 103.09 | 4.87 | 89.20 | 13.44 |
| Corriente A (A) | 243.53 | 11.16 | 204.09 | 34.61 |
| Corriente B (A) | 248.91 | 11.84 | 208.27 | 35.43 |
| Corriente C (A) | 247.02 | 12.08 | 208.21 | 35.04 |

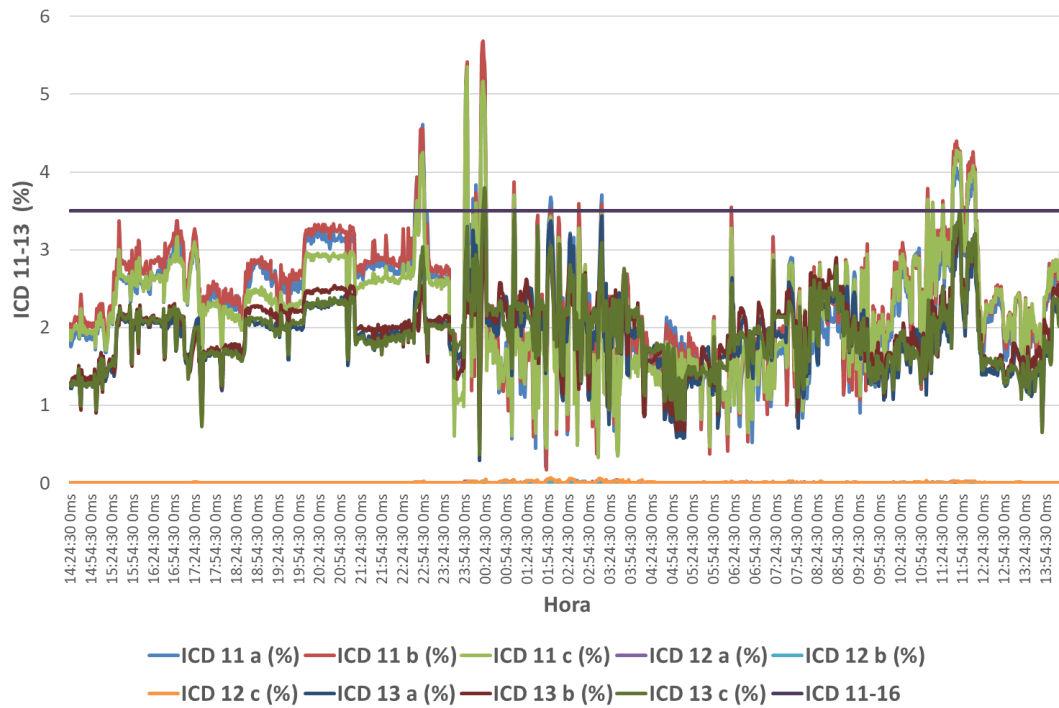
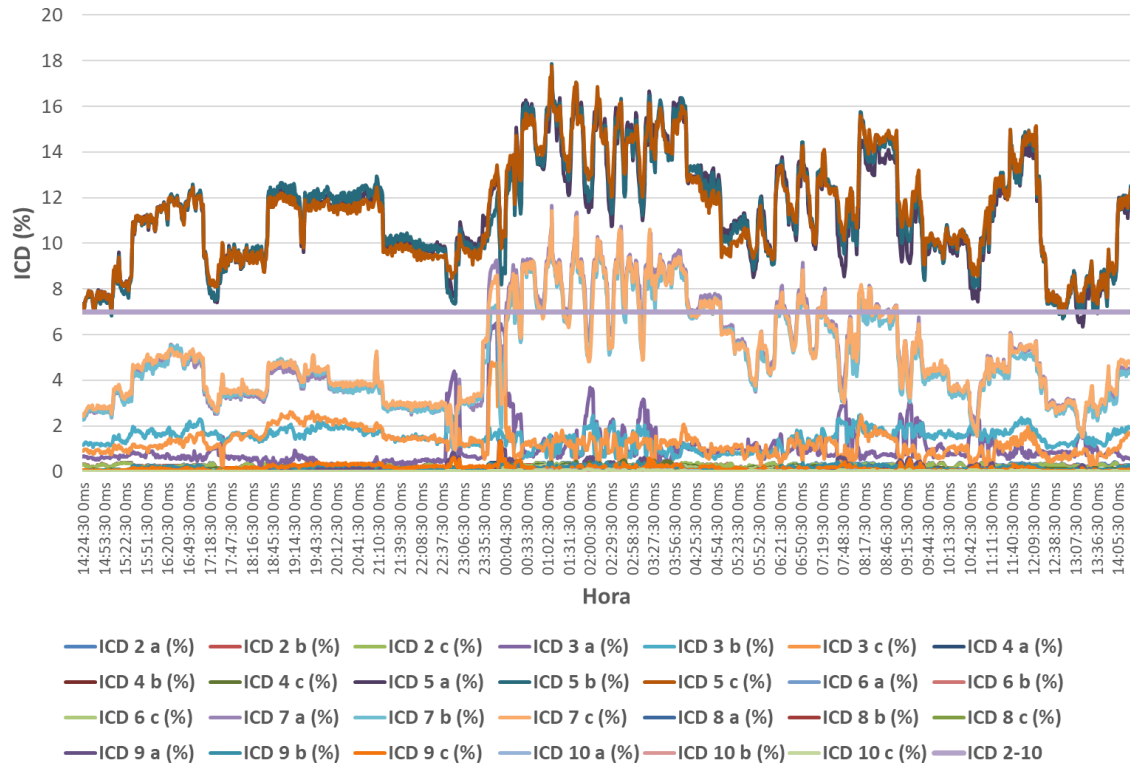
| Parámetros | Máximo | Mínimo | Promedio | Desviación estándar |
|---------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| Variación de tensión (p.u) | 1.03 | 0.92 | 0.97 | 0.05 |
| Desequilibrio de tensión (%) | 14.98 | 0.48 | 3.09 | 7.73 |
| Desequilibrio de corriente (%) | 39.91 | 0.32 | 15.16 | 20.00 |
| Factor potencia total (p.u) | 0.98 | 0.88 | 0.94 | 0.06 |
| Potencia aparente total (kVA) | 75.80 | 14.18 | 36.08 | 31.24 |
| Potencia activa total (kVA) | 69.90 | 13.76 | 33.74 | 28.45 |
| Potencia reactiva total (kVAr) | 28.45 | 2.04 | 11.54 | 13.38 |
| Corriente A (A) | 172.11 | 33.59 | 81.24 | 70.37 |
| Corriente B (A) | 212.46 | 29.92 | 96.98 | 92.33 |
| Corriente C (A) | 209.17 | 35.07 | 103.93 | 87.68 |
| Factor de carga del transformador (%) | 15.16 | 2.84 | 7.22 | 6.25 |

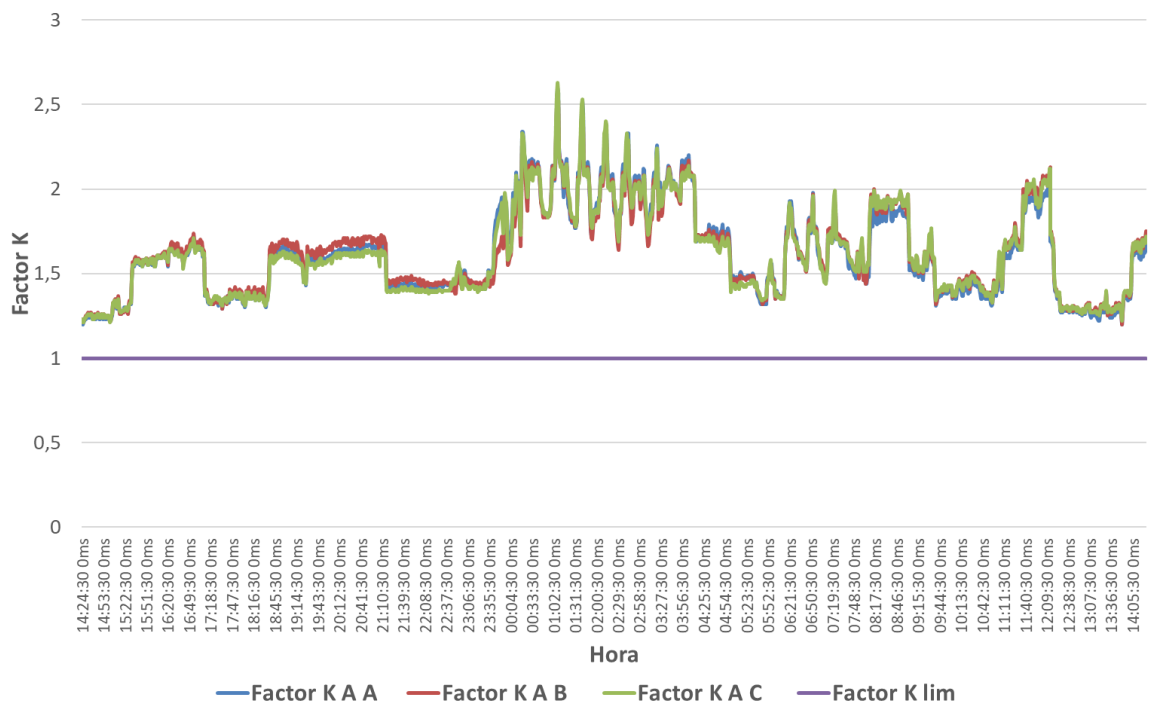
Estudio de armónicos



$$\frac{I_{cs} \text{ (Corriente de cortocircuito)}}{I_L \text{ (Corriente maxima de lineas)}} = \frac{12450A}{252,68A} = 49,28$$



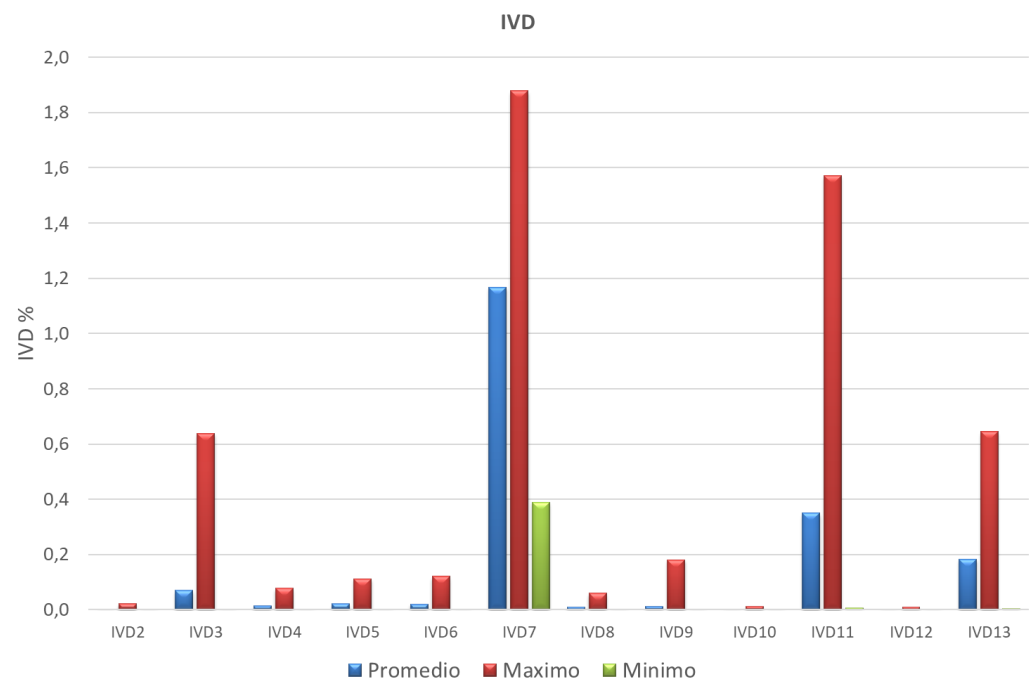


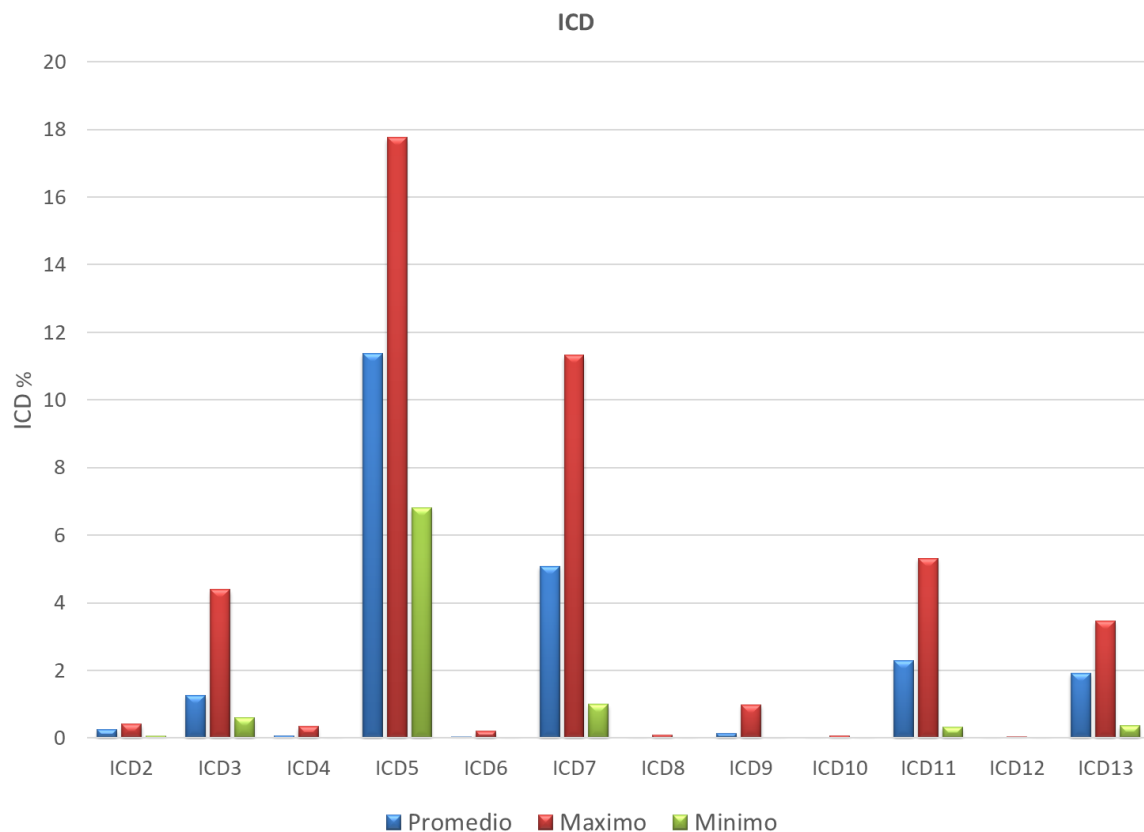


| Parámetros | TH DV | TH DI | Factor K | IVD 3 | IVD 4 | IVD 5 | IVD 6 | IVD 7 | IVD 8 | IVD 9 | IVD 10 | IVD 11 | IVD 12 | IVD 13 |
|---------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Promedio | 1.51 | 12.94 | 1.62 | 0.070 | 0.014 | 0.022 | 0.021 | 1.168 | 0.011 | 0.012 | 0.001 | 0.350 | 0.000 | 0.184 |
| Máximo | 2.63 | 21.27 | 2.59 | 0.64 | 0.08 | 0.11 | 0.12 | 1.88 | 0.06 | 0.18 | 0.001 | 1.57 | 0.001 | 0.65 |
| Mínimo | 1.0 | 7.7 | 1.2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.001 | 0.00 | 0.001 |
| Desviación Estándar | 0.26 | 2.81 | 0.26 | 0.086 | 0.021 | 0.029 | 0.030 | 0.222 | 0.013 | 0.019 | 0.002 | 0.295 | 0.001 | 0.100 |

| Parámetros | ICD 2 | ICD 3 | ICD 4 | ICD 5 | ICD 6 | ICD7 | ICD 8 | ICD9 | ICD 10 | ICD 11 | ICD 12 | ICD 13 |
|------------|--------|-------|--------|--------|--------|------------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Promedio | 0.2634 | 1.270 | 0.0767 | 11.380 | 0.0400 | 5.0886 | 0.0165 | 0.1423 | 0.0117 | 2.2854 | 0.0042 | 1.9260 |
| Máximo | 0.4143 | 4.398 | 0.3463 | 17.764 | 0.2077 | 11.3223 | 0.0983 | 0.9873 | 0.0753 | 5.3210 | 0.0417 | 3.4747 |
| Mínimo | 0.0597 | 0.6 | 0.0067 | 6.815 | 0 | 1.00166667 | 0 | 0.00333333 | 0 | 0.337 | 0 | 0.363 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|--------|------------|--------|------------|------------|------------|------------|
| Desviación Estándar | 0.06 54 | 0.47 83 | 0.07 67 | 2.28 3 | 0.04 73 | 2.0661 | 0.02 09 | 0.0988 | 0.01 67 | 0.72 34 | 0.00 72 | 0.43 72 |
|------------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|--------|------------|--------|------------|------------|------------|------------|





| | Total de datos | Limite ICD (%) | Datos mayores del limite | Datos que pasan de los limites (%) |
|--------|----------------|----------------|--------------------------|------------------------------------|
| ICD 5 | 1440 | 7 | 1435 | 99.7 |
| ICD 7 | 1440 | 7 | 232 | 16.1 |
| ICD 11 | 1440 | 3.5 | 57 | 4.0 |

3.3. Aspectos positivos y problemas identificados

| Ítem | Aspectos positivos |
|------|--|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> El transformador solo utiliza el 30 % de su capacidad, es decir que cuenta con un 70% de capacidad para instalar otras cargas aproximadamente de 400kVA |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> Se pudo evidenciar que el factor de potencia no es muy bajo, lo que permite no afectar otras cargas y no ser penalizados por el distribuidor de energía. |

| | |
|---|--|
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> El desequilibrio de tensión es muy bajo respecto a los valores de referencia normalizados, no hay desfase entre las líneas, es decir no existen líneas sobrecargadas unas más que otras. |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> Los armónicos de tensión totales e individuales se encuentran por debajo de los límites normalizados |
| 5 | <ul style="list-style-type: none"> La variación de tensión se encuentra dentro de los límites normalizados, pero se recomienda colocar un supresor de picos, como también ajustar el TAP del transformador. |

| Ítem | Problemas identificados | Efectos negativos |
|------|--|--|
| 1 | En el gráfico de tensiones de línea se observa que el transformador tiene una sobre tensión permanente por encima de su tensión nominal. | <ul style="list-style-type: none"> Los equipos conectados, al elevarse la tensión pueden tener mal funcionamiento o dañarse, esto influye mayormente en los equipos electrónicos. |
| 2 | En el gráfico de armónicos de corriente se observa que existe un problema principalmente en los armónicos individuales de orden 5 y 7 que sobrepasan los valores de referencia de la norma IEEE 519. | <ul style="list-style-type: none"> Elevación en la temperatura de los conductores, este fenómeno puede traer consigo la disminución del aislamiento hasta ocasionar un corto circuito. Afecta a los interruptores termomagnéticos con disparos inesperados. Sobrecargas de corrientes armónicas en los motores de alimentación bomba de agua, blower de la caldera, bomba de agua suavizado-agua potable y bomba de aceite terminado de la delta #6, estos pueden llegar a sobrecalentarse Calentamiento del transformador |

3.4. Propuestas de soluciones

| Ítem | Problemas identificados | Propuestas de soluciones | Ventajas | Desventajas |
|------|--|--|---|--|
| 1 | En el gráfico de tensiones de línea se observa que el transformador tiene una sobre tensión permanente por encima de su tensión nominal. | <ul style="list-style-type: none">• Se recomienda ajustar el TAP del transformador.• Colocar un supresor de picos-DPS• Instalar un transformador más cercano a la potencia requerida | <ul style="list-style-type: none">• Se llevaría la tensión del circuito a un valor seguro para los equipos, fácil aplicación, muy bajo costo.• Desvía la sobretensión en eventos transitorios• El transformador trabajaría con un factor de carga más alto y una tensión secundaria más controlada. | <ul style="list-style-type: none">• Cuando se conecten cargas a futuro en este circuito se presentarán caídas de tensión.• Ante una sobretensión prolongada con una alta corriente no protege• Alto costo en la instalación del nuevo transformador. |

| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| 2 | <p>En el gráfico de armónicos de corriente se observa que existe un problema principalmente en los armónicos individuales de orden 5 y 7 que sobrepasan los valores de referencia de la norma IEEE 519.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Reactores o inductancias de línea que reducen los armónicos de corriente según recomendación del fabricante respecto a cada variador de frecuencia • Instalar filtros pasivos, son la combinación de inductancias y condensadores conectados al variador de frecuencia. • Filtro de armónicos activo a la instalación. | <ul style="list-style-type: none"> • No requiere cálculo ya que es provisto por el fabricante del variador de frecuencia, fácil instalación y bajo costo. • Se diseña de acuerdo con el orden del armónico que se desea corregir • Corrección de múltiples frecuencias armónicas en toda la instalación, corrección de factor de potencia, equilibrio de las fases, mejora del índice de factor k presente en el transformador. | <ul style="list-style-type: none"> • Corrección puntual a un equipo dejando el resto de la instalación vulnerable a otra fuente de armónicos. • Pueden llegar a entrar en resonancia con los bancos de condensadores • Alto costo, mayor gasto de mantenimiento, requiere espacio físico adicional para su instalación. |
|---|---|--|---|--|

IV. CONCLUSIONES

1. En el gráfico de tensiones de línea se observa que el transformador tiene una sobre tensión permanente por encima de su tensión nominal, por lo cual se recomienda ajustar el TAP del transformador para corregir este inconveniente.
2. En el gráfico de armónicos de corriente se observa que existe un problema de armónicos principalmente en los armónicos individuales de orden 5 y 7 que sobrepasan los valores de referencia de la norma IEEE 519, cabe destacar que el transformador tiene conectado cinco variadores de frecuencia de los cuales, dos son de 100HP.
3. En el grafico del factor K se observa que los valores están por encima de los valores de tolerancia del transformador, en este caso se recomienda un nuevo análisis luego de aplicar las correcciones del filtrado de armónicos de corriente, ya que estos son generados por los variadores de frecuencia.

V. BIBLIOGRAFÍA:

- Dugan, R. C. (2010). Electrical power systems quality. McGraw-Hill.
- Dugan, R. C. (2010). Electrical power systems quality. McGraw-Hill.
- IEEE Standards Association. (2014). IEEE Std 519-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Power and Energy Society, 29.
- Escudero Delgado, P., & Carrión Galarza, D. (2018). Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC. INGE CUC, 14(2), 116-125.
<https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.11>
- IEEE Standards Association. (2009). IEEE Std 1159-2009. Recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE Power and Energy Society.
- Jaekel, B. W. (2008, August). Description and classification of electromagnetic environments-revision of IEC 61000-2-5. In 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (pp. 1-4). IEEE.
- ICONTEC, N. (2004). 1340: Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público.
- COLOMBIANO, C. E. Norma NTC 2050. 2002, Bogotá.
- Colombiana, N. T. (2008). Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación de punto de conexión común, || NTC, 5001-2008.
- Santos, V. S., Eras, J. J. C., Gutierrez, A. S., & Ulloa, M. J. C. (2019). Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring. Measurement, 136, 237-247.

- Silva Ortega, J. I., Cardenas Escorcía, Y. D. C., & Valencia Ochoa, G. E. (2018). Monitoring electromagnetic fields and safe operation levels in electrical power transmission lines. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, VOL. 67, 2018
- Florez, B. H. M., Ortega, J. I. S., & Becerra, J. E. C. (2018). Fault Effect Analysis Based on Elements Loadability to Evaluate Reliability in Power Systems. *IEEE Latin America Transactions*, 16(10), 2649-2656.
- Sanchez, Z. G., Gonzalez Cueto Cruz, J. A., Sanchez, G. C., Herrera, H. H., & Silva Ortega, J. I. (2020). Voltage collapse point evaluation considering the load dependence in a power system stability problem. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 10.
- Silva-Ortega, J., Zapata-Rivera, J., Candelo-Becerra, J., Rosales-Hernández, N., Umaña-Ibáñez, S., Mejía-Taboada, M., Palacio-Bonill, A., & Torregroza Rosas, M. (2016). Transformadores de distribución que operan con aceite de origen vegetal como dieléctrico y refrigerante. *INGE CUC*, 12(2), 79-85.
<https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.08>
- Andrade Montoya, P., Morejón Bastidas, J., & Inga Ortega, E. (2016). Cobertura máxima de redes de sensores inalámbricos para un sistema de gestión de energía en hogares inteligentes. *INGE CUC*, 12(2), 68-78.
<https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.07>
- Quispe, E. C., López, I. D., Ferreira, F. J., & Sousa Santos, V. (2018). Unbalanced voltages impact on the energy performance of induction motors. *International journal of electrical and computer engineering*, 8 (3) Junio 2018.
- Silva Ortega, J. I., Sousa Santos, V., Sarmiento Crespo, P. C., Gómez Sarduy, J. R., Felipe, V., Percy, R., & Quispe, E. C. (2019). Effects of power electronics devices on the energy quality of an administrative building. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10 (4).
- Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Santos, V. S., & Teyra, M. A. D. A. (2011). Análisis de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo. *INGE CUC*, 7(1), 9-16.
- Sousa Santos, Vladimir, Juan J. Cabello Eras, Alexis Sagastume Gutiérrez, and Mario J. Cabello Ulloa. 2020. "Data to Support the Assessment of the Energy Efficiency Estimation Methods on Induction Motors Considering Real-Time Monitoring." *Data in Brief* 30: 105512. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352340920304066>.
- Sousa, V., Hernández, H., Quispe, E. C., Gómez, J. R., & Viego, P. R. (2017, May). Analysis of harmonic distortion generated by PWM motor drives. In *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)* (pp. 1-6). IEEE.
- di Mauro, G., Ferreyra, R., Suárez, J., & Jurado, A. (2015). Sobretensiones por Ferroresonancia en un Sistema de Distribución Eléctrica Rural: Reporte de Caso y Simulación. *INGE CUC*, 11(1), 34-47. Recuperado a partir de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/378>

- F. Hoyos, J. Candelo y J. Silva. "Performance evaluation of a DC-AC inverter controlled with ZAD-FPIC" INGE CUC, vol. 14, no. 1, pp. 9-18, 2017 DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.01>
- Sousa Santos, V., Hernandez Herrera, H., Quispe, E. C., Viego, P. R., & Gómez, J. R. (2017). Harmonic distortion evaluation generated by PWM motor drives in electrical industrial systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7 (6), pp. 3207-3216.
- García-Guarín, P., Cantor-López, J., Cortés-Guerrero, C., Guzmán-Pardo, M., & Rivera, S. (2019). Implementación del algoritmo VNS-DEEPSO para el despacho de energía en redes distribuidas inteligentes. *INGE CUC*, 15(1), 142-154. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.13>
- Marriaga-Márquez, I. A., Gómez-Sandoval, K. Y., Grimaldo-Guerrero, J. W., & Nuñez-Álvarez, J. R. (2020, May). Identification of critical variables in conventional transformers in distribution networks. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 844, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- García Sanchez, Z., Gonzalez Cueto Cruz, J. A., Crespo Sanchez, G., Hernández Herrera, H., & Silva Ortega, J. I. (2020). Voltage collapse point evaluation considering the load dependence in a power system stability problem.
- Patiño Builes, A. (2015). Tendencias tecnológicas que influyen en el aumento de la productividad empresarial. *INGE CUC*, 11(2), 84-96. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.11.2.2015.09>
- Silva Ortega, J. I., Sousa Santos, V., Sarmiento Crespo, P. C., Gómez Sarduy, J. R., Viego Felipe, P. R., & Quispe, E. C. (2019). Effects of power electronics devices on the energy quality of an administrative building.
- Santos, V. S. (2014). *Procedimiento para determinar la eficiencia de motores asincrónicos en presencia de desbalance y armónicos en la tensión*. Editorial Universitaria.
- Sousa, V. (2006). *Determinación de la eficiencia de motores asincrónicos en condiciones de campo y en presencia de desbalance de tensión* (Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba).